

ANALISA OLAH GERAK KAPAL DI GELOMBANG REGULER PADA KAPAL TIPE AXE BOW

Romadhoni

Jurusan Teknik Perkapalan Politeknik Negeri Bengkalis

Jl. Bathin Alama Sungai Alam Bengkalis - Riau 28751

Email : romadhoni@polbeng.ac.id

Abstrak

Kapal dengan tipe AXE BOW merupakan pengembangan dari *Inovasi Enlarged ship Concept* yang di desain dan dikembangkan pada tahun 1995 oleh *Delft University dan Damen Shipyard*. Konsep Axe-Bow sendiri merupakan re-design bentuk haluan kapal yang pada penelitian sebelumnya dapat memberikan nilai hambatan yang lebih rendah dibandingkan haluan tanpa bentuk Axe Bow. Pada penelitian ini menganalisa tentang enam derajat kebebasan, khususnya pada gerakan vertikal yaitu heaving, pitching dan rolling pada gelombang reguler yang disajikan dalam grafik Response Amplitudo Operator (RAO's). dengan memasukkan parameter seperti variasi kecepatan serta sudut gelombang yaitu $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ dan 180° kemudian dari grafik dapat terlihat nilai sub-kritis, kritis dan sangat kritis pada setiap gerakan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan komputasi software Seakeeper ver.13, Hasil penelitian ini adalah nilai gerakan heave maksimum terjadi pada saat kecepatan 12.68 m/s kondisi sudut datang gelombang 180° dengan nilai RAO sebesar 2,54 m/m pada frekuensi 0,95 rad/s. Selanjutnya terjadi penurunan nilai gerakan roll seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai roll maksimum terjadi sudut datang gelombang 90° saat kecepatan kapal 0/m/s dengan nilai RAO 15.5 deg/m pada frekuensi 0,95 rad/s, sedangkan nilai roll minimum terjadi pada kecepatan 12.68 m/s dengan sudut datang 90° nilai RAO 15.04 deg/m. pada fekuensi 1.25 rad/s. dan gerakan pith maksimum terjadi pada kecepatan kapal 12.68 m/s arah gelombang 180° dengan nilai RAO 11.29 deg/m pada frekuensi 1.0 rad/s.

Kata kunci: Seakeeping, AXEBOW, RAO Planing Hull

1. PENDAHULUAN

Konsep Kapal Axe bow merupakan tipe haluan kapal dengan karakteristik bentuk haluan kapal yang runcing dan sempit dengan arah vertikal dengan ujung bawah haluan yang semakin dalam menyerupai ujung kapak. Haluan tersebut dapat membelah dan menerjang gelombang dengan mudah sehingga mampu mengurangi pitching dan bentuk bawah haluan yang meruncing dan dalam dapat mengurangi slamming. Axe bow merupakan pengembangan dari Inovasi Enlarged Ship Concept (ESC) yang didesain pada tahun 1995 oleh Delft University dan dikembangkan oleh Damen Shipyard. dengan mengubah panjang kapal tanpa mengubah parameter ukuran utama kapal yang lain seperti lebar, sarat kapal dan lain-lain hal ini dimaksudkan untuk mengurangi :

- Froude number pada kecepatan yang sama
- Meningkatkan Rasio antara panjang kapal dan displasement yang berguna untuk hambatan pada perairan tenang dan Olah gerak kapal di laut
- Mengurangi Pitch Gyradius dari kapal.

Pada metode ESC ini kapal dibagi menjadi pilihan beberapa variasi panjang yaitu:

- 1.00 x L (Ukuran asli tanpa ada perubahan)
- 1.25 x L
- 1.50 X L

Berikut variasi panjang kapal cepat patroli :



**1.00 x L
(26.00 m.)**



**1.25 x L
(33.00 m.)**



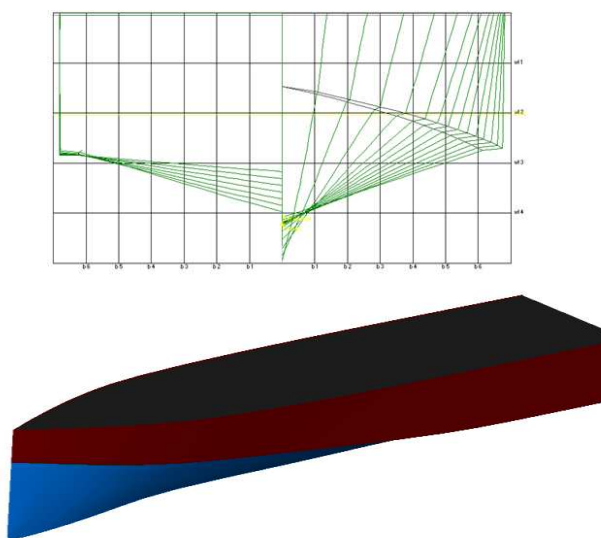
**1.50 x L
(40.00 m.)**

Gambar 1: Variasi Panjang kapal cepat patroli dengan Panjang asli 26 m

Pada Penelitian ini menganalisa olah gerak kapal FCS (Fast Crew Supplier) dengan tipe Axe Bow dengan Kapal FCS tanpa axe bow. Pada Ukuran kapal yang dianalisa menggunakan 1.25 x L yaitu dengan ukuran utama Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1 : Ukuran Utama Kapal

Parameter	S	Satuan	AXE
Overall Lenght	LOA	m	38
Length Water line	LWL	m	38
Breadth Moulded	Bmld	m	7.6
Height Molded	Hmld	m	3.65
Draft/Drougt	T	m	1.89
Displasmen	Δ	Ton	240.59
Cofesien Prismatic	Cp	m	0.72
Cofesien Block	Cb	m ²	0.32
Cofesien Midsip	Cm	m	0.64
Water Surface Area	WSA	m	293.566



Gambar 2: Model Kapal AXE BOW

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Olah Gerak Kapal

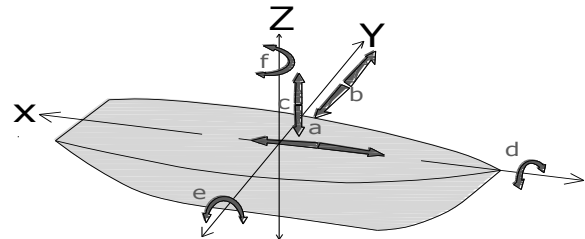
Pada dasarnya kapal yang berada diatas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya external yang menyebabkan kapal bergerak (ship moving). Gerakan kapal ini disebabkan adanya faktor dari luar terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu :

- Gerakan rotasi, gerak ini merupakan gerak putaran meliputi :
 - Rolling

- Pitching
- Yawing

- Gerakan linear, gerak ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya meliputi :

- Surging
- Swaying
- Heaving



Gambar 3: Macam gerak kapal sesuai sumbunya

Dimana :

X- axis adalah sumbu memanjang

Y- axis adalah sumbu melintang

Z- axis adalah sumbu vertikal

Keterangan :

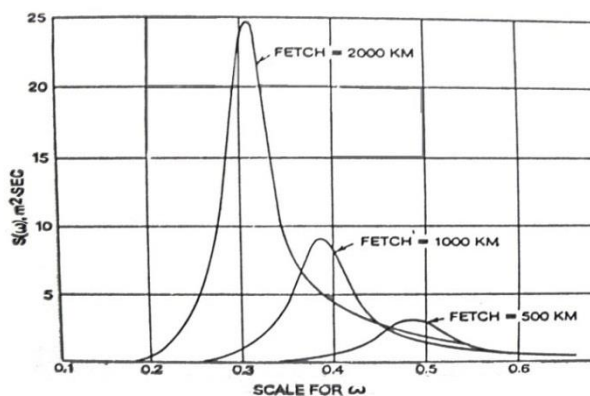
- Rolling* (d) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu X berupa olengan ke arah *starboard-portside*
- Pitching* (e) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Y berupa anggukan *by thebow-by the stern*
- Yawing* (f) yaitu gerakan bersudut sesuai dengan sumbu Z berupa putaran
- Surging*(a) yaitu gerakan linear terhadap sumbu X
- Swaying* (b) yaitu gerakan linear terhadap sumbu Y
- Heaving* (c) yaitu gerakan linear terhadap sumbu Z .

Respon dari gerakan kapal ini meliputi :

- Added mass inertial force* adalah pertambahan massa pada kapal untuk kembali pada posisi semula
- Damping force* adalah gaya peredam yang berlawanan arah dengan arah gerak kapal yang menghasilkan pengurangan *amplitude* gerakan kapal secara berangsur- angsur
- Restoring force* adalah gaya untuk mengembalikan kapal ke posisi semula (*equilibrium position*). Gaya ini merupakan gaya *buoyancy* tambahan
- Exciting force* adalah gaya eksternal yang bekerja pada kapal. *Exciting force* berasal dari hasil integrasi gaya apung tambahan dan gelombang sepanjang kapal.

2.2 Spektrum JONSWAP (The JONSWAP Spectrum)

Bentuk ideal spektrum dideskripsikan dalam subbagian – subbagian sebelumnya diperuntukkan untuk merepresentasikan kondisi gelombang pada lautan terbuka. Bagaimanapun juga ada banyak bagian dari pentingnya teknik di mana terdapat batasan-batasan geografis yang membatasi panjang hembusan angin pada area-area yang beregenerasi itu. Laut Atlantik utara termasuk ke dalam jenis area ini. Perhitungan oseanografis yang ekstensif telah dilakukan di bawah pengawasan JONSWAP- Joint North Sea Wave Project (Perairan Kepulauan/Tertutup). Sebagai jenis yang sama, spektrum telah dikomputerisasikan dari perekaman ini memiliki puncak-puncak yang lebih sempit daripada jenis *Pierson-Moskowitz*. Spektrum JONSWAP secara sederhana adalah sebuah bentuk dari spektrum *Bretschneider*.



Gambar 3. Spektrum JONSWAP dalam berbagai hembusan angin (fetches) dengan kec. Angin 20 m/s

Gambar tersebut menjelaskan perbandingan antara spektra *Bretschneider* dan spektra JONSWAP pada tiga kondisi laut yaitu significant wave height ($H_{1/3}$) adalah 4 m, peak period masing – masing adalah 6, 8 dan 10 s.

Kondisi Perairan (Sea Condition)

Kondisi perairan pada penelitian ini mengacu pada kondisi (Sea State Code) yang telah ditetapkan oleh WMO (World Meteorological Organization) dengan peninjauan pada 3 (tiga) variasi kondisi laut dengan parameter yang berbeda meliputi 1/3 tinggi gelombang tertinggi (significant wave height), periode gelombang (wave period), dan kecepatan angin (Sustained Wind Speed). Variasi kondisi laut tersebut adalah ombak kecil (Slight), ombak sedang (Moderate) dan ombak besar (Rough).

Tabel 2: World Meteorological Organization Sea State Code

Sea Code	Wave Height ($H_{1/3}$) (m)	Wind Speed (Knots)	Wave Period (s)	Description
	Range	Mean		
3	0,875	13,5	7,5	Slight
4	1,875	19	8,8	Moderate
5	3,250	24,5	9,7	Rough

Response Amplitude Operator (RAO) atau yang disebut juga sebagai *Transfer Function* adalah fungsi respon struktur akibat beban gelombang yang mengenai struktur lepas pantai pada frekuensi tertentu. RAO disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu ($\zeta_{\text{respon}} / \zeta_{\text{gelombang}}$). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur (Chakrabarty, 1987).

Apabila Model rancangan telah dinyatakan layak untuk dievaluasi, selanjutnya dilakukan Analisa dalam frequency domain. Salah satu metode yang digunakan untuk perhitungan olah gerak kapal adalah metode *Frequency Domain Methode / Strip Theory*. Output perhitungan ini dapat terdiri dari beberapa atau keseluruhan unit, meliputi :

- Gerakan kapal yaitu *heaving*, *pitching*, *rolling*. Didefinisikan atas *amplitude*, *velocity*, *acceleration* yang mengakibatkan *deck wetness*.
- Hambatan (added resistance) yang timbul akibat pengaruh gelombang dan arah masuk gelombang (wave heading).
- Gaya dinamis yang bekerja pada kapal.
- Nilai MSI (*Motion Sickness of Incident*) pada beberapa lokasi pantauan.
- Struktural respon (RAOs) pada tiap gerakan kapal.

Analisa frequency domain dilakukan untuk mencari RAO dari kapal axe bow pada dengan menggunakan persamaan gerak yang dinyatakan pada persamaan (1) dan kemudian nilai Response Amplitude Operator (RAO) dihitung dengan mengikuti

konsep persamaan (2)

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + A + \dot{\zeta}_{jk} + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t} ; \quad j, k = 1, 2, \dots, 6$$

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\eta}_{ka} + A\dot{\eta}_{jk} + C_{jk}\zeta_{ka}] = F_j e^{i\omega t}; \quad j, k = 1, 2, \dots, 6$$

Dimana:

M_{jk} = Matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut,

A_{jk} = Matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik,

B_{jk} = Matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik,

K_{jk} = Matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik,

F_j = Matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $i\omega t$),

F_1 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan surge

F_2 = Gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan sway

F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan heave

F_4 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan roll

F_5 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan pitch

F_6 = Momen eksitasi yang menyebabkan gerakan yaw

z_k = Elevasi gerakan pada mode ke k ,

$\dot{\zeta}_k$ = Elevasi kecepatan gerak pada mode ke k ,

$\ddot{\zeta}_k$ = Elevasi percepatan gerak pada mode ke k .

$$RAO = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)}$$

Dengan :

$X_p(\omega)$ = Amplitudo gerakan Kapal

$h(\omega)$ = Amplitudo gelombang insiden

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada Penelitian ini dilakukan beberapa langkah tahapan :

- I. Pemodelan kapal sesuai dengan ukuran utama kemudian dihitung nilai hidrostatiknya untuk mencari nilai VCG. Pemodelan dilakukan dengan bantuan komputasi *software* Maxsurf ver.13

- II. Kemudian model dimasukkan ke *software* Seakeeper ver.13 untuk menganalisa olah gerak kapal.

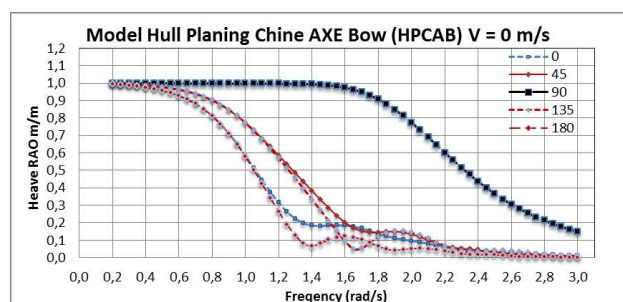
- III. Parameter-parameter dimasukkan dalam input berupa :

- a. Variasi kecepatan, variasi yang dimasukkan adalah pada kecepatan 0 m/s, 6.1728 m/s dan 12.68 m/s.
- b. Sudut Gelombang, sudut yang diambil adalah μ following seas (0°) : yaitu arah gelombang searah dengan melajunya kapal μ Beam seas (90°) : yaitu arah gelombang tegak lurus terhadap badan kapal μ Quarter stern seas (45°) : yaitu arah gelombang pada seperempat buritan μ Head seas (180°) : yaitu gelombang pada arah haluan.
- c. Spectra Gelombang, yang dipilih adalah JONSWAP dengan ketinggian gelombang maksimum adalah 3.5 m

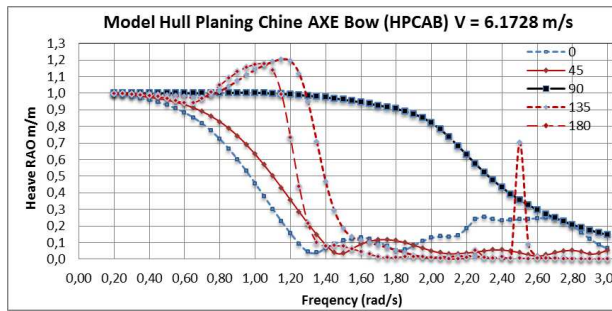
IV. HASIL PENELITIAN

Response Amplitude Operator (RAO) Model Kapal Hull Planing Chine AXE Bow

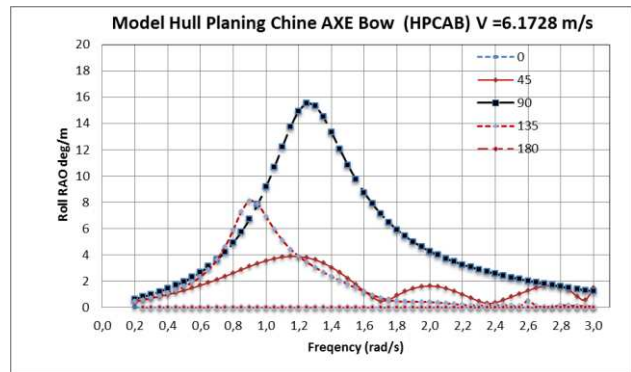
Dibawah ini grafik yang menunjukkan analisa Respon Amplitude Operator model kapal *hull planing chine AXE Bow* (HPCAB) terhadap frekuensi pada kecepatan 0 m/s, 6.1728 m/s dan 12.68 m/s untuk sudut datang gelombang $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ dan 180° berdasarkan dari hasil running menggunakan *software* maxsurf. Hasil analisa Respon Amplitude Operator untuk semua gerakan terhadap frekuensi adalah sebagai berikut:



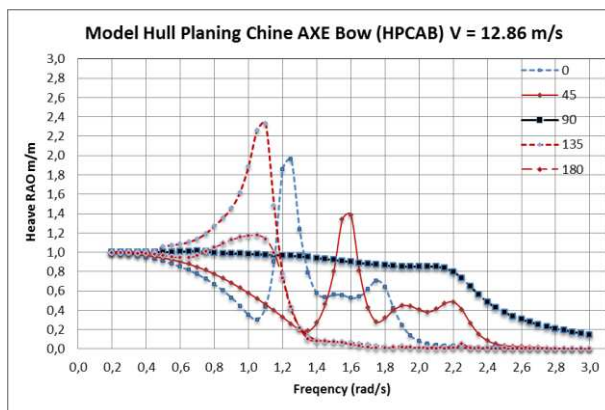
Gambar 4. RAO Heave Model *Hull Planing Chine AXE Bow* (HPCAB) kecepatan 0 m/s



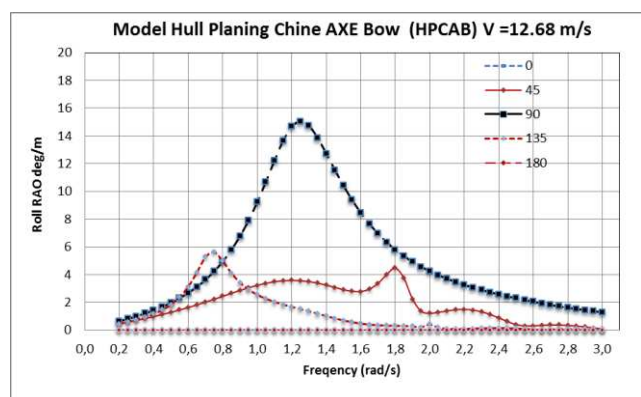
Gambar 5 RAO Heave Model *Hull Planing Chine AXE Bow* (HPC) kecepatan 6.1712m/s



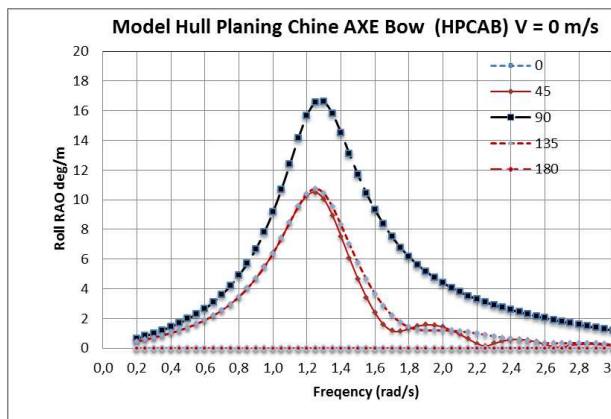
Gambar 8. RAO Roll Model *Hull Planing Chine AXE Bow* (HPCAB) kecepatan 6.1728 m/s



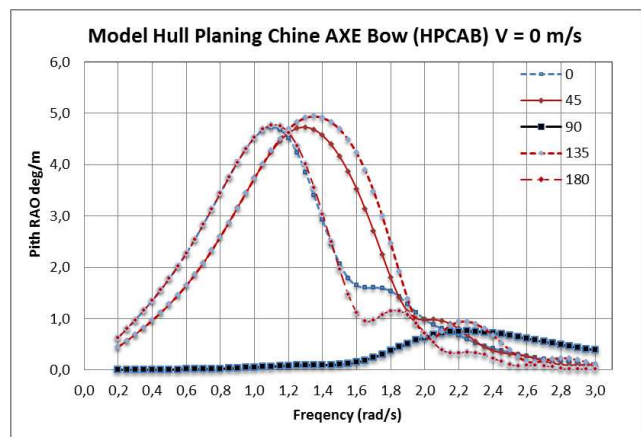
Gambar 6. RAO Heave Model *Hull Planing Chine AXE Bow* (HPC) kecepatan 12.68m/s



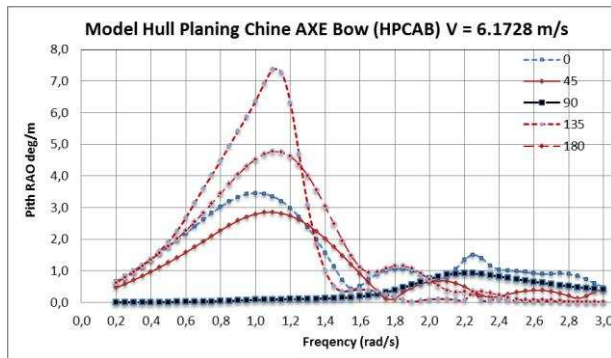
Gambar 9 RAO *Roll Model Hull Planing Chine AXE Bow* (HPCAB) kecepatan 12.68 m/s



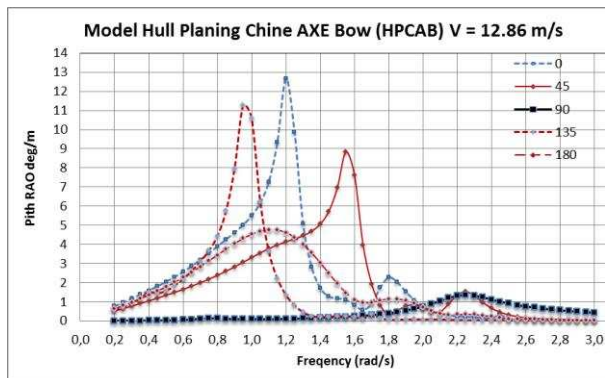
Gambar 7. RAO *Roll Model Hull Planing Chine AXE Bow* (HPCAB) kecepatan 0 m/s



Gambar 10. RAO Pitch Model *Hull Planing Chine AXE Bow* (HPCAB) kecepatan 0 m/s



Gambar 11. RAO pitch Model Hull Planing Chine AXE Bow (HPC) kecepatan 6.1728 m/s



Gambar 12. RAO Pitch Model Hull Planing Chine AXE Bow (HPC) kecepatan 12.68 m/s

Tabel 5.8 dibawah ini adalah nilai RAO maksimum dan frekuensi natural model *hull planing chine AXE Bow* (HPCAB) tiap gerakan untuk kecepatan 0 m/s, 6.1728 m/s dan 12.68 m/s, yaitu

Tabel 3. Nilai Amplitudo maksimum model *Hull Planing Chine AXE Bow*

Item	Wave heading	HPCAB		
		0m/s	6.1728 m/s	12.68 m/s
Heave	0	0.99	0.99	1.96
	45	0.99	0.99	1.38
	90	0.99	1.00	1.01
	135	0.99	1.20	2.33
	180	0.99	1.17	2.54
Roll	0	0	0	0
	45	10.51	3.89	4.47
	90	16.61	15.50	15.04
	135	10.75	8.11	5.61
	180	0	0	0
Pitch	0	4.73	3.46	12.66

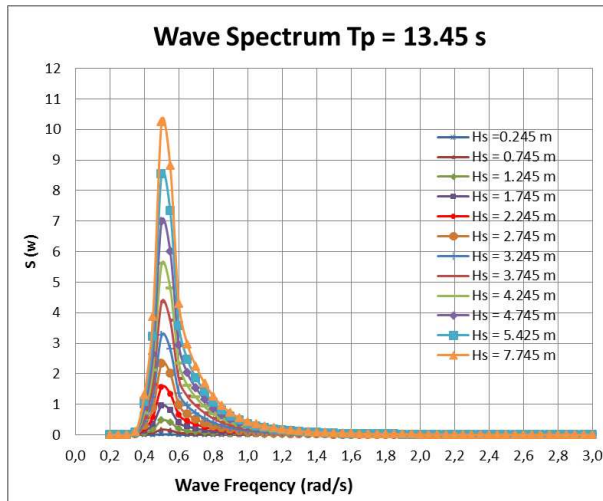
	45	4.73	2.85	8.84
	90	0.76	0.92	1.36
	135	4.94	6.94	10.39
	180	4.77	7.32	11.29

Karakteristik gerak model kapal *hull planing chine AXE Bow* (HPCAB) pada gelombang regular dipengaruhi oleh kecepatan, arah gelombang. Hasil analisis RAO model kapal *Hull Planing Chine* (HPC) adalah sebagai berikut:

- Untuk gerak *heave* terjadi kenaikan nilai gerakan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai gerakan *heave* maksimum terjadi pada saat kecepatan 12.68 m/s kondisi sudut datang gelombang 180° dengan nilai RAO sebesar 2,54 m/m pada frekuensi 0,95 rad/s.
- Terjadi penurunan nilai gerakan *roll* seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai roll maksimum terjadi sudut datang gelombang 90° saat kecepatan kapal 0/ms dengan nilai RAO 15.5 deg/m pada frekuensi 0,95 rad/s, sedangkan nilai roll minimum terjadi pada kecepatan 12.68 m/s dengan sudut datang 90° nilai RAO 15.04 deg/m. pada fekuensi 1.25 rad/s.
- Untuk gerak *pith* terjadi kenaikan nilai gerakan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal Nilai *pith* maksimum terjadi pada kecepatan kapal 12.68 m/s arah gelombang 180° dengan nilai RAO 11.29 deg/m pada frekuensi 1.0 rad/s.

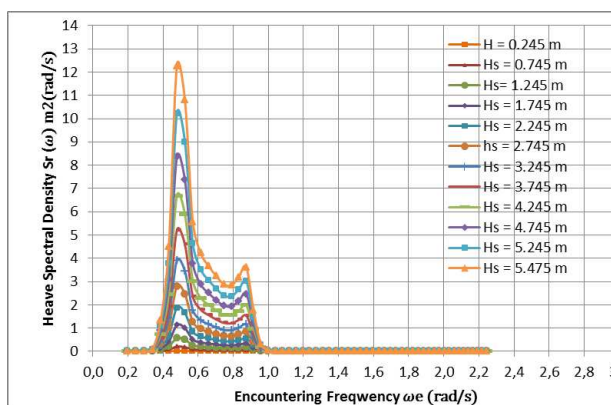
Kondisi perairan dan Spektrum Gelombang

Persamaan JONSWAP ini sekarang banyak dipakai oleh perusahaan-perusahaan minyak yang beroperasi di Indonesia dalam merancang anjungan dan fasilitas lautan lainnya, tetapi dengan mengambil harga γ yang lebih rendah, yaitu sekitar 2.5 atau 2.0. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Sudira, 2012) sebaran periode puncak spektra di Laut Natuna mempunyai rentang antara 1.45 detik s.d 16.45 detik dan rentang H_s antara 0.245 m s.d 5.745 m. Di setiap periode puncaknya terdiri dari variasi tinggi gelombang signifikan (H_s) tertentu. Pada periode puncak 13.45 detik dan 12.45 detik mempunyai sebaran H_s paling banyak, dari H_s terendah yaitu 0.245 m s.d H_s tertinggi yaitu 5.745 m. Gambar 5.8 berikut menunjukkan spectrum energi gelombang Laut Natuna pada Tp 13.45 detik.

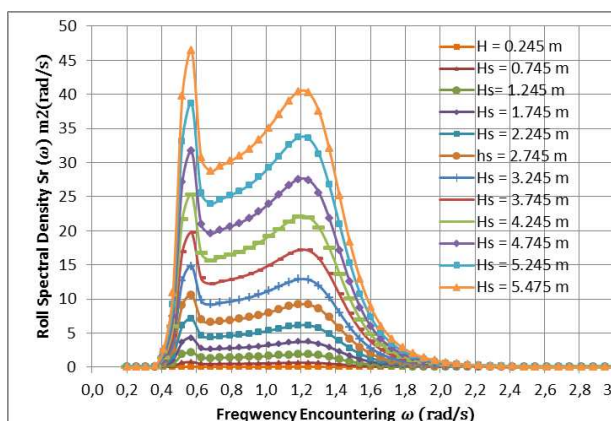


Gambar 13. Grafik wave spektrum Gelombang JONSWAP

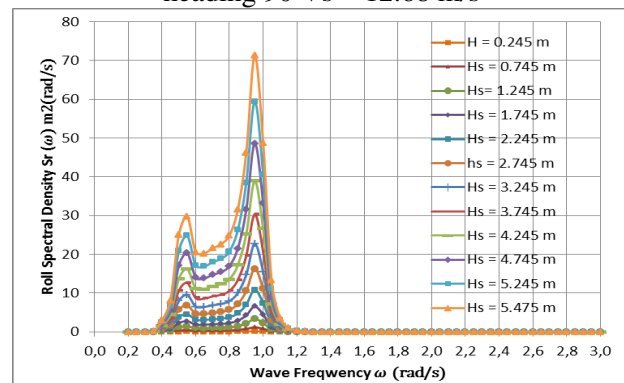
Hasil running spektra gelombang JONSWAP ($\gamma = 2.5$) akan digunakan untuk mencari response spektra pada kapal HPCAB seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 14. Spektra Respon Heave Model HPCAB heading 180 Vs = 12.68 m/s



Gambar 16. Spektra Respon Roll Model HPCAB heading 90 Vs = 12.68 m/s



Gambar 16. Spektra Respon Pitch Model

HPCAB heading 180 Vs = 12.68 m/s

Dari perhitungan dapat diambil data untuk meplot kurva spektra respon heave, roll dan pitch, yakni yang diambil dari nilai-nilai dalam kolom $S_r(w)$ sebagai ordinat dan frekuensi terkait sebagai absisnya. Hasil plot spektra respon gerakan model kapal *crew boat* disajikan pada gambar 5.60-5.70. Dalam gambar grafik tersebut ada 12 kurva sepektra respons gerakan *heave*, *roll* dan *pitch* yang dihitung menurut kenaikan gelombang signifikan mulai dari 0.245 m sampai dengan 5.745 m. Pola perubahan kurva spektra respon *heave*, *roll* dan *pitch* pada masing-masing model kapal *crewboat* ini relative mirip dengan pola spektra gelombangnya, posisi masing-masing frekwensi puncak spektra dari keempat model kurang lebih sama.

V. KESIMPULAN

Karakteristik gerak model kapal *hull planing chine AXE Bow* (HPCAB) pada gelombang regular dipengaruhi oleh kecepatan, arah gelombang. Hasil analisis RAO model kapal *Hull Planing Chine* (HPC) adalah sebagai berikut:

- Untuk gerak *heave* terjadi kenaikan nilai gerakan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai gerakan *heave* maksimum terjadi pada saat kecepatan 12.68 m/s kondisi sudut datang gelombang 180° dengan nilai RAO sebesar 2,54 m/m pada frekuensi 0,95 rad/s.
- Terjadi penurunan nilai gerakan *roll* seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai roll maksimum terjadi sudut datang gelombang 90° saat kecepatan kapal 0/m/s dengan nilai RAO 15.5 deg/m pada frekuensi 0,95 rad/s, sedangkan nilai roll minimum terjadi pada kecepatan 12.68 m/s dengan sudut datang 90° nilai

RAO 15.04 deg/m. pada frekuensi 1.25 rad/s.

- c. Untuk gerak *pith* terjadi kenaikan nilai gerakan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal. Nilai *pith* maksimum terjadi pada kecepatan kapal 12.68 m/s arah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhattacharyya, R. (1978), *Dynamics Of Marine Vehicles*, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Djatmiko, E.B. 2012. "Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak". ITS-Press. Surabaya. Inonesia.
- [3] Keuning, J.A., Pinker, J., & Walree, F.V. (2011), Investigation In To The Hydrodynamic Performance of the AXE Bow Concept.
- [4] Riola, J.M., Garcia A.M. (2006), *Habitability and Personal Space in Seakeeping Behaviour*, Journal of Maritime Research, Vol. III No.1, pp.41-54.
- [5] Badan Meteorologi Kimatologi dan Geofisika Tahun 2015.